中華農業氣象 (Chinese J. Agromet.)　8 : 1 - 10, 2001

研究報告(Original Paper)

SPOT 衛星影像之大氣改正模式及水稻反射率反演精度之評估

劉建慧[1]　楊純明[2]　劉振榮[3]

[1] 環球技術學院資管系

[2] 行政院農業委員會農業試驗所農藝系

[3] 國立中央大學太空及遙測研究中心

摘　要

由於遙測衛星影像具備經濟、快速且大面積觀測之能力，其於精準農業扮演之角色是非常重要的。爲了有效利用遙測影像精準管理農田，其大氣效應之改正是必須的。本文使用同時氣膠特性及地表反射率反演法則，反演氣膠光厚度 (AOD) 和水稻反射率。經由 AERONET 資料之輔助，得到綠光及紅光波段所反演 AOD 之 RMSE 分別爲 0.12、0.08，其精度令人滿意。再者也利用 GER 光譜輻射儀驗證 SPOT 衛星影像反演之水稻反射率，結果指出經大氣改正後水稻反射率之 RMSE 由改正前之 0.089 減少爲 0.04。此誤差可能來自於 AOD 之高估或地面空間變異。

關鍵詞：氣膠光厚度、大氣改正、水稻反射率。

Accuracies Assessment of The Atmospheric Correction Model and Retrieved Rice Reflectance for Spot Satellite Images

Chien-Hui Liu [1], Chwen-Ming Yang [2], Gin-Rong Liu [3] ([1.] Department of Information management, Transworld Institute of Technoloty, Douliu, Taiwan, R.O.C., [2.] Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Taiwan, R.O.C., [3.] Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Taiwan, R.O.C.)

ABSTRACT : Remote sensing satellite images play an important role for the precision agriculture, since they have economical, fast and wide viewing abilities. To better utilize the remotely sensed images for precision farming, it is necessary to correct their atmospheric effect. In this paper, the con-current retrieval algorithm of aerosol characteristics and surface reflectances are utilized to estimate the aerosol optical depth (AOD) and the rice reflectance. With the help of AERONET sunphotometer measurements, the estimated AOD RMSEs are 0.12 and 0.08 in XS1 and XS2 bands, respectively. The results are quite satisfactory. Furthermore, the accuracy of retrieved rice reflectance is also evaluated by GER spectroradiometer. Before atmospheric correction, the RMSE of rice reflectance is 0.089, and it is reduced to 0.04 after correction. The errors may be due to over-estimation of AOD or spatial variation of the rice field.

Keywords : Aerosol optical depth, Atmospheric correction, Rice reflectance.

本研究承蒙農委會計劃(編號：90 農科-4.1.1-農-C2(01))經費支援，在此深致謝忱。

農試所 期刊

前 言

遙測在精準農業所扮演之角色，在於提供其經濟、快速且大面積之資料。透過資料前處理程序，如幾何改正、輻射處理步驟，使影像資料得以眞實反映某地理位置之作物本身特性。續配合地面對作物及環境之定性及定量描述及度量，經由統計或生物-物理-化學方法推演，探討研究適切模式，反覆驗證遙測技術之準確性，以期能將地面單點精準管理之成果，推展至全國各地。

爲了能夠以遙測技術自動化監測水稻之生長狀態，水稻之生長光譜建立是必須的。此關鍵工作便是，遙測影像之大氣改正。這是因爲即使水稻之生長狀態相同，由於感測器及大氣之影響，會導致影像灰度值相差甚大，因此後續之應用如水稻生長光譜建立，產量預估及災害監測等等，均會受到絕對之阻礙。因此，在利用遙測監測水稻課題上，其影像之大氣改正爲最基本之工作及要務。

大氣成分主要是分子氣體及氣膠(aerosol)。大氣效應源自於上述兩者之吸收及散測兩種物理機制。影響遙測之輻射亮度之主要吸收之分子氣體包括 O_3、O_2、CO_2 及 H_2O，對於可見光及近紅外線遙測而言，主要影響爲臭氧和水汽，只要知道其含量，則利用一些輻射傳遞碼均可求取其光厚度 (optical depth) 及其穿透率 (Kneizys *et al.*, 1988,Tanre *et al.*, 1990)。分子氣體散射部分，其與地面壓力相關，利用輻射傳遞方程 (RTE) 即可求取。由於氣膠隨時間及空間變化之特性，因此較難預測其不同波長之光學特性，以及反演其光厚度，從而對遙測影像作大氣改正。所以大氣改正之關鍵便在於氣膠光厚度 AOD (aerosol optical depth) 之求取。雖然利用地面量測氣膠方式是目前大氣改正之最精確方法，但是考量其空間變異及過去歷史影像欠缺量測資料配合，目前則以影像本身求取最爲適合。爲了使氣膠光厚度求解精度提高，多重散射完全解優於單次散射解。

大氣改正之方法眾多，但影響遙測影像大氣改正之精確度主要因素有三：(a) 感測器之絕對輻射校正 (sensor absolute radiometric calibration) (b) 輻射傳遞方程 (RTE) 求解之精度 (c) 氣膠光厚度之反演法則。就 (a) 而言，此校正係數可依據拍攝時感測器與內 部標準光源之校正結果，雖然可利用所謂飛行中校正 (inflight calibration)，但其需要一大範圍且均勻之地表，因此此方法較爲不易，目前大多信賴影像上附屬校正係數，用以將影像灰值轉換爲輻射亮度。就 (b) 而言，RTE 之求解以多重散射法較優於單次散設法，而多重散射求解中又以完全解 (exact solution) 優於估計解。例如連次散射法 SOSA (Successive Order of Scattering Algorithm) (Vermote *et al.* 1997) 優於 Sobolev approximation，而其當然優於單次散射法。就 (c) 而言，主要是利用影像上之暗物體求取非均勻之氣膠光厚度 (AOD)，以減少求解誤差 (Ouaidrari and Vermote 1999)；亦有利用兩張影像考慮結構函數，改正非均勻大氣效應 (Lin *et al.*, 2001)。Ahern 等 (1977) 利用清澈水體作爲路徑輻射求解 AOD。不過水體容易受污染而改變其反射率。Kaufman 和 Sendra (1988) 首先利用暗密植被 (DDV) 求解AOD。Liu 和 Vermote (2000) 利用 DDV 並考慮非均勻大氣效應，改進了 Liu 等 (1995) 之均勻大氣改正假設。Vermote 等 (1997) 發展 6S，此輻射傳遞碼改進了 5S 的一些缺點：例如使用 SOSA 求解多重散射，可改變之感測器及地物之高度，非蘭氏表面以及考慮新的吸收氣體分子。

SPOT 衛星影像在台灣已有相當多年應用於農作物之監測經驗 (陳等，1989；劉，1988；周，1993；陳等，1995；周，

1997；申等，1998；劉等，2000；吳等，2000)。由於其具備有低成本、大面積、多光譜且高頻率對定點觀測之優點，其廣泛被應用在估測農作物之生育期及種植面積之估測，並且用於研究災害之監測。

本研究主要驗證SPOT衛星影像反演AOD及水稻反射率之精度，以利後續水稻相關課題研究，諸如生長期及產量之估測及預估、災害監測等等。

材料與方法

一、氣溶膠光學厚度反演模式

(一)SPOT衛星影像反演氣膠光厚度模式

在此使用同時氣膠特性及地表反射率反演法 (Liu *et al.* 1996)，用以從SPOT衛星影像反演氣膠光厚度AOD。其步驟分述如下：

1. 使用既有隻輻射傳遞碼，諸如LOWTRAN 7 (Kneizys *et al.* 1988), 5S (Tanre *et al.* 1990) or 6S (Vermote *et al.* 1997)，決定雷氏散射、O_3、H_2O和氣體之光厚度 (optical depth)；
2. 假設氣膠之物理參數，包括尺寸分布 (Junge size distribution) (其值)，折射指數 (refractive index) (指定為1.5322-0.01174i，即大陸型continental model)。其中初始Junge參數ν設定為3.0，折射指數指定為1.5322-0.01174i，即大陸型 (continental model) 而尺寸範圍 (size range) 設為[001,10.] (Lenoble, 1985)；
3. 使用米氏理論 (Mie theor) 決定單次散射反照率 (single scattering albedo)、散射向函數 (scattering phase function) 及非對稱因子 (asymmetry factor)；
4. 建立已知反射率之暗密植被DDV (dense dark vegetation) 與衛星接受之輻射亮度 (radiance) L=L (AOD)。其中DDV於XS1及XS2波段反射率設定為0.03及0.02 (Kaufman and Sendra, 1988)；
5. 由SPOT影像決定XS1及XS2波段之DDV灰度值，續利用步驟4求得AOD；
6. 使用Angstrom式 (Angstrom, 1964)，求取ν。
7. 檢驗兩次AOD (XS1) 差距是否小於某一閥值；若是，則執行步驟6計算AOD (XS3)，若否，計算新的Junge參數ν'，續執行步驟1。除閥值之外，亦可設定最大疊代次數，以結束此法則。

詳細流程如圖一。該法則在Landsat TM影像於美國威斯康辛州試區所得AOD精度約為0.15 (Liu and Vermote, 2000)。

(二)SPOT衛星資料集

在此使用五張SPOT衛星影像，用以反演AOD (表一)。研究區域位於桃園縣中壢市，AERONET測站之一之國立中央大學位於試區之中央。影像拍攝期間範圍為1998/06至2000/09，拍攝時之太陽天頂角及觀測天頂角範圍分別為20.6°～42.5°、3.6°～30.4°。相對方位角小於90°者表示後向散射觀測，表一顯示共有三張影像觀測恰為後向散射觀測。

(三)AOD觀測資料

在此使用AERONET (AErosol RObotic NETwork) (Holben et al., 1998) NCU_Taiwan站之AOD觀測資料。其所使用太陽光度計 (sunphotometer) 之濾鏡現有波長分別為440 nm、500 nm、670 nm、870 nm、1020 nm。但由於缺乏500 nm之AOD，及所關心之SPOT HRV XS1及XS2波段，在此僅使用440 nm、及670 nm AOD與衛星所反演者比較。在此使用Angstrom formula內插得太陽光度計440 nm、及670 nm AOD，以求得SPOT相應XS1及XS2中央波長之AOD，用以驗證SPOT衛星所反演AOD之精度。

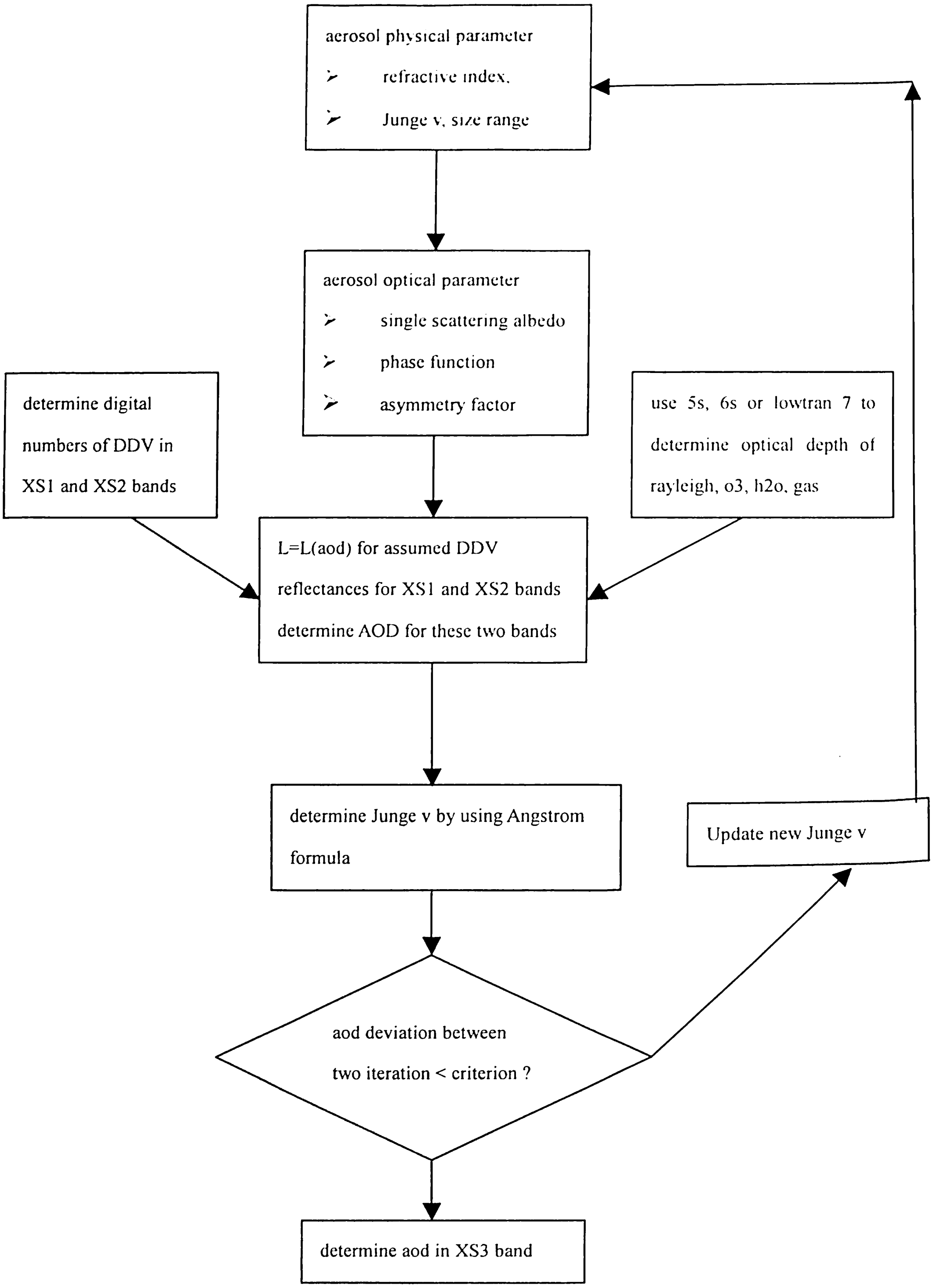

Fig. 1. The aerosol optical depth (AOD) retrieval scheme from SPOT satellite images.

Table 1. Solar and scanning geometries of five testified SPOT images

Date	θs^{*}	θv^{**}	ϕ^{***}
1998/06/27	20.64	30.35	13.79
1998/11/08	42.49	13.09	119.83
1999/10/13	36.24	25.46	46.46
1999/10/21	37.04	3.57	124.74
2000/09/20	28.98	17.19	52.81

* : solar zenith angle; ** : viewing zenith angle; *** : relative azimuth angle.

二、SPOT衛星影像反演水稻反射率

(一)SPOT衛星影像大氣改正模式

由上述 SPOT 衛星影像所反演氣膠光厚度 AOD，使用 Liu 等 (1996) 發展之同時反演氣膠及反射率法則，執行 SPOT 衛星影像之大氣改正，求取地面反射率影像。此法則在桃園中壢試區，所得地面反射率精度約為 0.02 (Liu *et al.*,1996)，適用於大多數之遙測應用。

(二)水稻反射率觀測試區

本實驗試區位於台中縣行政院農業委員會農業試驗所，編號 74、75、76、77 四個各 100 m×50 m 面積之精準農業水稻試驗田。

(三)GER 光譜輻射儀與 SPOT 衛星 HRV 感測器之同步觀測

為了能夠驗證 SPOT 衛星影像所求水稻反射率之精度，在此使用 GER 光譜輻射儀 (spectroradiometer) 同步配合 SPOT 衛星，量測水稻光譜反射率 (spectral reflectance)。為了考慮空間之變異，各試驗田，均量測 12～15 次，以求其平均值。需注意的是，由於 GER 之實際操作，在此僅垂直觀測。GER 光譜輻射儀，可量測波長範圍為 331 nm～2588 nm，其光譜解析度由 1.3 nm～1.6 nm 在波長 1047 nm 處增加至 11 nm～16 nm 不等。為了驗證 SPOT 衛星上 HRV 感測器相關波段之反射率，GER 光譜輻射儀所量測水稻光譜反射率，則以 HRV 感測器相關波段之反應函數 (response function) 權重之。緧以上述波段反射率，驗證 SPOT 衛星影像大氣改正模式。

在此選取均有 GER 同步觀測之九張 SPOT 影像作實驗，其時間為 1999 年之 04/01、06/09、06/24、09/16、10/28、11/05 及 2000 年之 04/11、10/26、11/16。

(四)SPOT 衛星影像試驗田水稻像元之挑選

由於地面 GER 量測點為試驗田周圍，而試驗田為 100 m×50 m 面積，對於空間解析度僅為 20 m 之 SPOT 衛星影像，為避免混合像元，僅能挑選試驗田之中間像元。因此影像水稻像元之挑選與 GER 量測點之不同，會增加大氣改正模式驗證之不確定性。

結果與討論

為了遙測水稻之地面反射率，SPOT 衛星影像必須反演氣膠光厚度。其圖二，為五張 SPOT 衛星影像所反演之 XS1 波段 (綠光) 氣膠光厚度與太陽光度計之比較。其最大、最小及 RMS 誤差分別為 0.14、0.02、0.12 (表二)。雖然此結果令人滿意，但仍需更多實驗驗證。圖三，則為 XS 2 波段 (紅光) 之結果。其最大、最小及 RMS 誤差分別為 0.13、0.01、0.08。

利用上述所得 AOD，代入大氣改正模式，便可求得水稻之地面反射率。圖四為 SPOT 衛星影像中水稻像元之顯反射率 (大

Table 2. Maximum, minimum and root-mean-square errors of retrieved AOD from SPOT images, compared with sunphotometer measurements from AERONET

XS1			XS2		
Max	Min	RMSE	Max	Min	RMSE
0.14	0.02	0.12	0.13	0.01	0.08

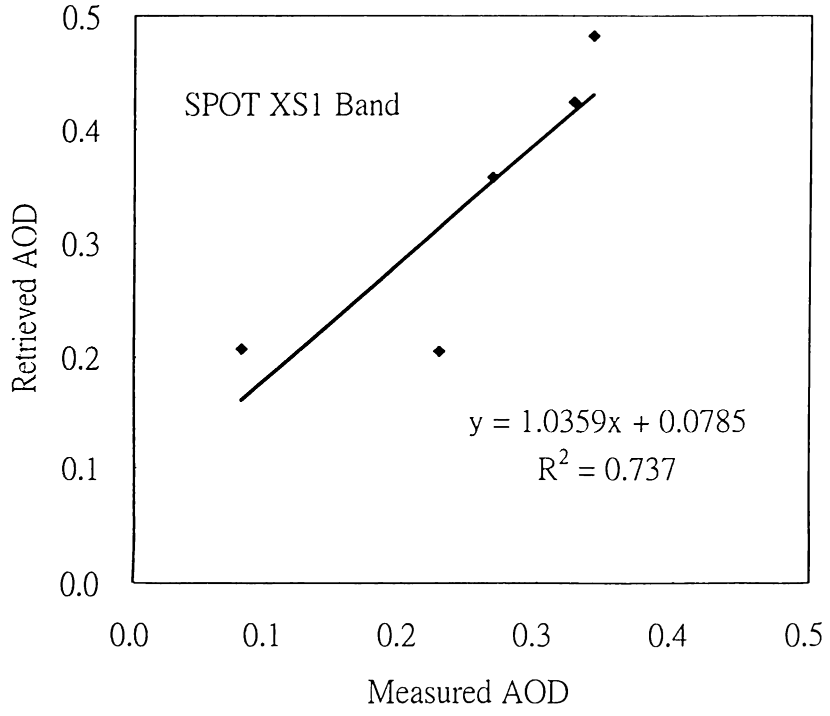

Fig. 2. Comparison between retrieved AOD from SPOT satellite images and sunphotometer measurements in XS1 band.

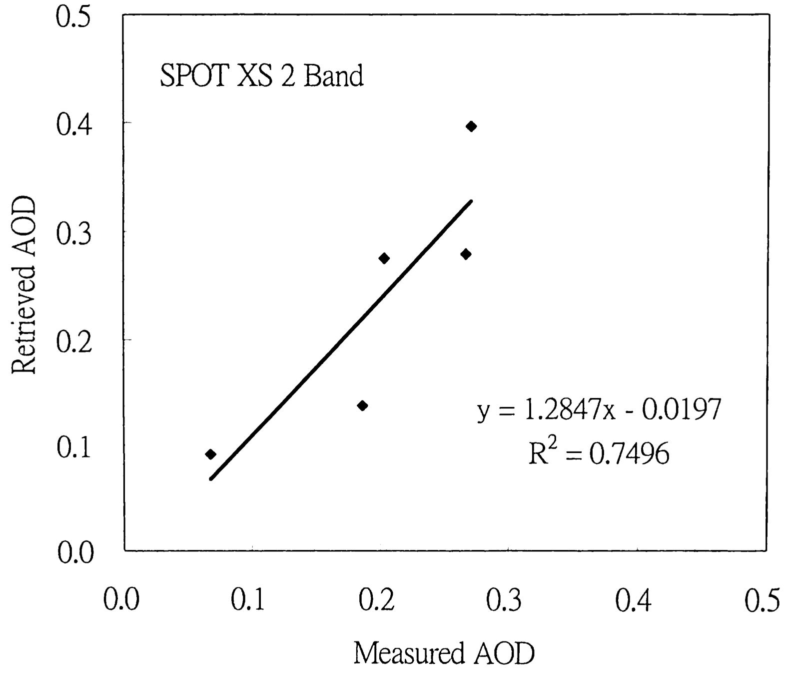

Fig. 3. The same as figure 2, except in XS2 band.

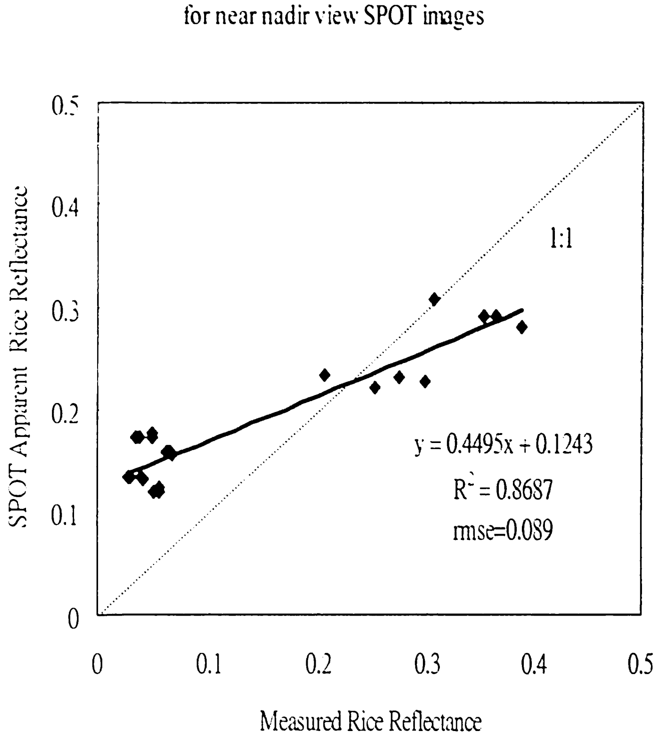

Fig. 4. Comparison between apparent reflectance (before atmospheric correction) from SPOT satellite images and field measurements for rice field.

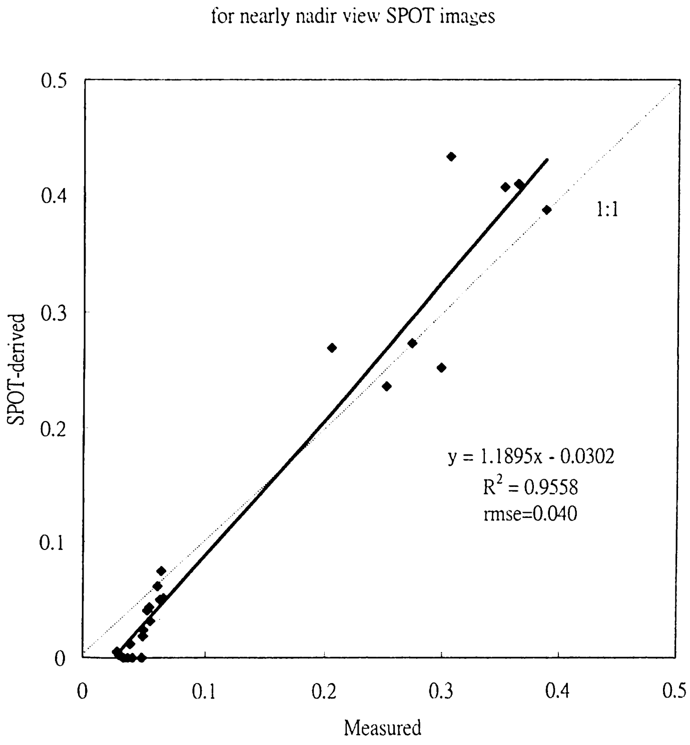

Fig. 5. Comparison between surface reflectance (after atmospheric correction) from SPOT satellite images and field measurements for rice field.

氣改正前)與地面量測反射率之比較。由圖四可知，若未改正SPOT衛星影像中之大氣效應，其水稻顯反射率(apparent reflectance)與GER光譜輻射儀所量測水稻波段反射率，RMSE可達0.089。圖四也顯示其兩者之迴歸式斜率與截距各爲0.450及0.124，此乃典型之大氣效應影響，亦即使得暗物體變亮、亮物體變暗，此影響亦近乎爲線性(R^2=0.87)。若比較其大氣改正結果之水稻地面反射率(圖五)之結果，迴歸式斜率則爲1.190，而截距爲-0.030(理想值爲斜率、截距分別爲1及0)，RMSE則減少至0.04。推敲此誤差較過去結果0.02大(Liu *et al*.,1996)之原因，(1)可能是因爲影像水稻像元之挑選與GER量測點有所不同(如前述)所致。分析所有GER觀測水稻，對XS1-3波段，不同水稻田within-field平均反射率標準差爲0.060；(2)可能是因爲AOD反演模式誤差導致AOD高估(如圖二中迴歸式截距爲0.07)，以及後續大氣效應之過度改正，亦即暗物體反射率過小和亮物體反射率過大(如圖五所示，迴歸式截距爲1.19)。

總而言之，本文使用同時氣膠特性及地表反射率反演法則，反演SPOT衛星影像之AOD並改正大氣效應求取水稻反射率。在以AERONET資料驗證後，AOD之RMSE於綠光及紅光波段分別爲0.12、0.08，其精度令人滿意。利用GER光譜輻射儀驗證SPOT衛星影像反演之水稻反射率，結果指出經大氣改正後水稻反射率之RMSE由改正前之0.089減少爲0.04。此誤差可能源於AOD之高估或地面空間變異。

引用文獻

申雍、李佩玲 1998 應用SPOT衛星影像區分水稻旱害等級與受災範圍初步研究。中華農業氣象5:203-208.

吳啓南、蕭國鑫、陳大科、廖子毅、劉治中 2000 遙測與資訊技術應用於精準農業的先驅試驗。水稻精準農業(耕)體系之研究(楊純明，林俊義主編)。行政院農委會農業試驗所112-126。

劉振榮、陳哲俊、林唐煌 2000 遙測科技在精準農業之應用-遙測水稻種植分布之實例。水稻精準農業(耕)體系之研究(楊純明，林俊義主編)。行政院農委會農業試驗所80-92。

周志平 1993 植被動態光譜之研究。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。桃園中壢。

陳哲俊等 1989 研究計劃綜合報告-SPOT衛星資料之應用及推廣研究。國立中央大學太空及遙測研究中心研究計劃報告。

周昶成 1997 利用多時SPOT衛星影像以研究水稻反射率動態光譜及其應用。國立中央大學太空科學研究所碩士論文。桃園中壢。

陳哲俊、楊金江、陳珠燕、甘果碩、劉建慧 1989 SPOT衛星資料之應用研究。行政院農委會專題研究報告。

陳哲俊、楊宏碁、楊金江、陳珠燕、張彬、徐滄其、劉建慧、王宏碁 1995 利用衛星影像資料改進稻作種植面積自動估測及生育查報計劃。國立中央大學太空及遙測研究中心研究計劃報告。

劉建慧 1988 利用SPOT衛星資料求取動態植被光譜之研究。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。桃園中壢。

Aheren, F. J., D. G. Goodenough, S. C. Jain, V. R. Rao and G. Rochon. 1977. Landsat atmospheric corrections at CCRS. P.583-595. In "Proceedings of the Fourth Canadian Symposium on Remote Sensing" Quebec City.

Angstrom, A., 1964. The parameters of atmospheric turbidity. Tellus 16:64-70.

Kaufman, Y. F. and C. Sendra. 1988, Algorithm

for automatic atmospheric corrections to visible and near-IR satellite imagery. Int. J. Remote Sens. 9:1357-1381. Kneizys, F. X., E. P. Shettle and L. W. Abreu. 1988. Users guide to LOWTRAN 7. pp.137. Report AFGL-TR-88-0177, Air Force Cambridge Research Lab., Bedford, MA.

Lenoble, J.. 1985. Radiative transfer in scattering and absorbing atmospheres: standard computational procedures. pp.300. A. Deepak Publishing, Virginia.

Lin, T. H., A. J. Chen, G. R. Liu and T. H. Kuo. 2001. Monitoring the atmospheric aerosol optical depth with SPOT data in complex terrain. Int. J. Remote Sens. (accepted).

Liu, C. H., A. J. Chen and G. R. Liu. 1996. An image-based retrieval algorithm of aerosol characteristics and surface reflectance for satellite images. Int. J. Remote Sens. 17(17):3477-3500.

Liu, C. H. and E. F. Vermote. 2000. A reflectance retrieval algorithm for Landsat TM satellite image. P.522-526. In "The 21st Asian Conference on Remote Sensing" Taiwan, Taipei.

Ouaidrari, H., and E. F. Vermote. 1999. Operational atmospheric correction of Landsat TM data. Remote Sens. Environ. 70:4-15.

Tanre, D., C. Deroo, P. Duhaut, M. Herman, J. J. Morcrette, J. Perbos, and P. Y. Deschamps. 1990. Description of a computer code to simulate satellite signal in the solar spectrum: the 5S code. Int. J. Remote Sens. 11:659-668.

Vermote, E. F., D. Tanre, J. L. Deuze, M. Herman, and J.-J. Morcrette. 1997. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. IEEE. Trans. on Geosc. and Remote Sens. 35:675-686.